

钻孔灌注桩侧摩阻力试验研究及修正计算

陈辉^{1,2}, 李江²

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2. 北京建材地质工程公司, 北京 100102)

摘要: 确定桩侧极限摩阻力的大小, 目前工程上广泛采用的是以经验方法为主, 辅以检测桩试验数据分析, 得到的结果往往存在误差。通过静载试验以及应力测试对桩侧摩阻力的发挥模式进行分析, 并结合工程实例针对桩侧摩阻力的计算提出了相应的修正系数。

关键词: 钻孔灌注桩; 侧摩阻力; 静载试验; 应力测试; 修正系数

中图分类号: TU473.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2009)04-0037-06

Lateral Friction Test and Amend Calculation of Bored Grouting Pile/CHEN Hui^{1,2}, LI Jiang² (1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China; 2. Beijing Building Material Geological Engineering corporation, Beijing 100102, China)

Abstract: Currently ultimate pile-side friction is determined on the basis of experience and assisted by data analysis on the testing pile, in this case, the result obtained often has some errors. Analysis was made on playing mode of pile-side friction by the static load test and the stress test, and corresponding correction factors for pile-side friction calculation were put forward based on the engineering cases.

Key words: bored grouting pile; lateral friction; static load test; stress testing; correction factor

0 前言

随着高层建筑的不断兴建, 钻孔灌注桩得到了广泛的应用。钻孔灌注桩的优点在于桩长和桩径可以依照地质条件、地形、荷载受力位置等进行灵活选取, 施工时对临近建筑物影响小, 施工方便灵活, 能广泛适用于各类地质条件复杂的情况, 质量容易得到保证, 可以多根桩同时施工, 且工期短, 造价低。但是, 桩基础作为最常用的一种基础形式, 其承载力通常是桩与土共同作用的结果, 其间的应力传递机理与过程极其复杂, 桩侧阻力的发挥与土性、桩的构造等一系列因素密切相关, 桩侧摩阻力的研究在钻孔灌注桩的研究中是个难点。

桩的侧摩阻力实际上是一个土体与结构物共同作用的接触问题。接触面的一侧是作为有界域弹性材料的桩, 另一侧则为半无界域的弹塑性材料土。正因为接触面两边材料力学性质的极大差异, 从而引起的变形也不一致, 所以土与桩侧的接触面上常有较大的剪应力, 即表现为桩体承载能力一部分的桩侧摩阻力^[1]。桩侧摩阻力的发挥主要与桩周土的力学性质、侧向有效压力、桩土的相对位移量、桩土的接触性质和时间效应等有关。大量的试验分析

证实, 桩身各点的摩阻力极限值的大小取决于该点的深度和土质, 但无论哪一点, 其极限摩阻力的发挥主要取决于桩土的相对位移。本文通过工程实际中桩的应力测试和静载试验对桩的侧摩阻力实测计算提出了相应的修正系数。

1 工程概况

河北开元环球中心位于石家庄市东大街和范西路交叉口东北角, 东邻铁路中心医院。建筑面积 178608.46 m², 主楼地上 53 层, 高 236.6 m, 地下 4 层, 结构形式为框架—核心筒结构体系, 钢混结构; 裙楼地上 5 层, 地下 4 层, 裙楼采用天然地基上的钢筋混凝土梁式筏板基础, 筏板厚度 0.6 m, 筏板底标高 -20.800 m。主楼采用桩筏基础。

涉及主要地层情况如下: 第⑦层: 粉质粘土, 可塑~硬塑状态, 属中压缩性土, 层厚 3.7~6.3 m, 底部夹细砂薄层, 定为⑦₁层; 第⑦₁层: 细砂, 浅黄色, 稍湿, 中密~密实, 局部为中砂, 层厚 0.2~1.5 m; 第⑧层: 粉土及粉质粘土, 褐黄~黄褐色, 属中压缩性土, 层厚 3.2~7.8 m; 第⑨层: 细砂, 黄白色, 稍湿, 密实, 层厚 0.3~2.1 m; 第⑩层: 中砂, 浅黄~黄

收稿日期: 2009-02-26

作者简介: 陈辉(1968-), 男(汉族), 安徽太湖人, 中国地质科学院地质力学研究所博士在读, 北京建材地质工程公司旋挖工程部经理、高级工程师, 地质工程专业, 从事基础工程施工及地质灾害治理工作, 北京市朝阳区望京西路甲 50 号-1 卷石天地大厦 4 层北京建材地质工程公司, chenhuif16@yahoo.com.cn; 李江(1964-), 男(汉族), 江西赣州人, 北京建材地质工程公司总经理、教授级高级工程师, 探矿工程专业, 从事基础工程研究与管理工。

白色,密实,顶层含少量卵砾石,层厚0.8~4.3 m;第⑪层:卵石,浅黄~杂色,密实,层厚0.8~4.0 m;第⑫层:粉质粘土,褐黄~黄褐色,属中压缩性土,层厚1.5~9.0 m;第⑬层:粉土,褐黄色,局部为粉砂,属中压缩性土,层厚1.5~9.0 m;第⑭层:细砂,浅黄色,稍湿,密实,分选较好,局部为中砂,层厚0.8~5.5 m;第⑮层:卵石,杂色,密实,稍湿~饱和,卵石含量50%~60%,层厚0.5~14.2 m;第⑯层:中粗砂含卵石,浅黄~黄白色,饱和,密实,卵石含量20%~30%,局部可高达40%以上,层厚9.4~16.9 m;第⑰层:卵石,杂色,密实,饱和,卵石含量50%~70%,层厚9.8~14.3 m。

2 试验研究

2.1 试桩情况

本次实验的3根试桩在场地的西侧,试验桩设计桩顶标高-27.4 m,试验时桩顶标高-20.1 m,有7.3 m的非有效桩长,对非有效桩长段桩体采用双套筒方式消除桩身侧摩阻力,如表1。

表1 试验桩的有关参数

桩号	桩径/mm	有效桩长/m	成桩日期
SJ-1	1000	30.0	2008-07-02
SJ-2	1000	30.0	2008-07-06
SJ-3	1000	30.0	2008-07-03

为了掌握试桩的桩身完整性,保证试验的准确性,在加载前分别对3根试桩进行低应变测试,测试结果表明3根桩均为I类桩,桩身完整。可以进行静载试验和桩身应力测试。

2.2 单桩竖向抗压静载试验

2.2.1 试验方法及测试项目

(1)本试验采用慢速维持荷载法,即单循环慢速加载、卸载方法。

(2)测试桩各级荷载及对应的沉降量,荷载与沉降量、时间关系,判定3根试桩竖向承载力。

(3)核验试桩的单桩竖向抗压极限承载力,为试验设计提供依据。

2.2.2 测试结果

本次对3根试桩所做的单桩竖向抗压静载试验,根据单桩竖向抗压静载试验数据, $Q-s$ 曲线以及其他辅助曲线特征及有关规定,3根试桩在试验加荷至22800 kN时,均为出现极限状态。扣除非有效桩长段(-20.1~-27.4 m)桩身压缩变形后,试桩SJ-1沉降7.28 mm,试桩SJ-3沉降10.45 mm,试桩SJ-2沉降8.48 mm。经综合分析,3根试桩单

桩竖向抗压极限承载力均不低于22800 kN。

3根试桩静载曲线见图1。

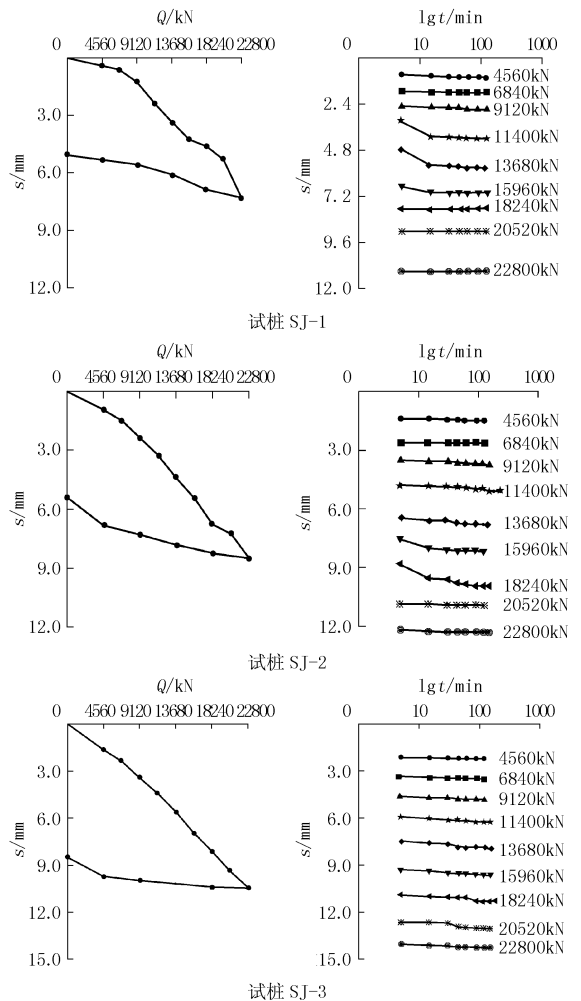


图1 三根试桩 $Q-s$ 、 $s-lgt$ 曲线图

在静载试验后分别对3根试桩进行低应变测试,测试结果表明,3根桩均为I类桩,桩身完整(见表2),可以继续对桩身进行应力测试。

表2 试验前后桩身结构完整性检测表

桩号	桩径/mm	桩长/m	波速/ $(m \cdot s^{-1})$	试验前		试验后	
				桩身结构完整性	类别	桩身结构完整性	类别
SJ-1	1000	37.3	3985	完整	I	完整	I
SJ-2	1000	37.3	4014	完整	I	完整	I
SJ-3	1000	37.3	4039	完整	I	完整	I

2.3 桩身应力测试试验

2.3.1 测试方法

桩身应力测试,根据土层分布,在试桩不同深度土层分层界面位置桩身断面处设置钢弦式传感器,利用桩顶受到竖向荷载后传感器的反应值,测试沿深度方向桩身轴力,并计算出不同深度方向上桩身侧摩阻力和桩端阻力,由此来评判桩身在不同荷载

作用下的受力特性。

2.3.2 传感器的布置

在试桩布置一套完整的采集系统,传感器设在沿桩深度土层界面位置,在桩身断面各对称布置一对传感器,在桩端以上 450 mm 布置一对,作为采集桩底反力信号。在设计桩顶以上 100 mm 位置布置一对传感器作为标定断面,以此传感器作为标准数据测定荷载系数,其他位置的传感器以该系数作为

基准,测试桩身应力。为了方便信号采集,地面以上的传感器信号线长度 $\leq 3.0\text{ m}$。传感器在钢筋笼制作过程中绑扎在主筋上,为避免在安装钢筋笼和浇注砼过程中损坏传感器,同一传感器信号线应沿一根筋固定,传感器固定在主筋沿环向侧面。各试桩处土层界面详细位置及传感器的布置见图 2。桩身内力测试随试桩静载测试同步进行,在加每级荷载前、后各测读一次。

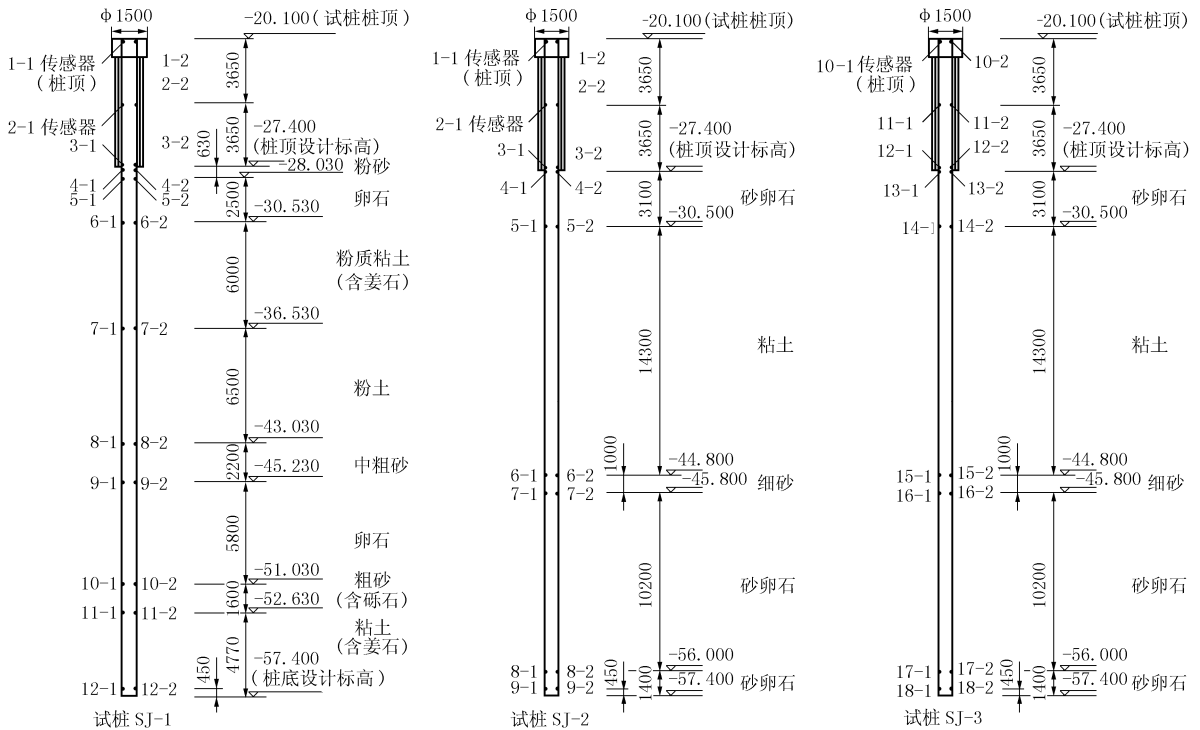


图 2 桩身应力测点器布置示意图

2.3.3 测试结果

内力测试随静载测试同步进行,测得在各级荷载下桩身不同深度处的轴力值,汇总于表 3,同时绘制出了对应的桩身轴力分布图(图 3)。

2.4 试验总结

从试验结果来看,在静载试验前后分别对 3 根试桩进行的低应变测试,结果表明 3 根试桩均为 I 类桩,桩身保持完整。可见,所进行的桩的静载试验和桩身应力测试的准确性,同时结合静载曲线等确定了桩的极限承载力 $\leq 22800\text{ kN}$。

从静载曲线图和桩身轴力图可以看出,桩侧摩阻力分布随着荷载水平的变化而发生显著的改变,其基本的特征如下。

(1)在桩顶荷载水平相对较低时,桩顶荷载将主要由桩身上部的桩侧摩阻力来承担,中下部的桩侧摩阻力发挥得相对较小。

(2)随着桩顶荷载水平的增加,桩身上部的桩

侧摩阻力得以充分发挥,而桩身中部的桩侧摩阻力也部分地参与承担桩顶荷载。

(3)当桩顶荷载达到单桩的极限承载力时,桩身上部桩侧摩阻力加载的后半程,就不再增长,或表现出有限度软化现象。而桩身中部的桩侧摩阻力基本发挥出其极限承载力。

而在桩身应力测试试验中,随着加载过程的进行,首先测出钢筋应力,然后计算出钢筋应变,再根据钢筋与混凝土的应变协调性,以及钢筋混凝土的模量、桩身断面尺寸,计算出桩身轴力 N ,同时汇总出桩身轴力图。

3 侧摩阻力计算的修正参数

桩侧摩阻力的计算在桩基计算中一直是重点问题。而目前确定桩侧摩阻力的方法主要有实测法和经验法两种。实测法比较精确,但是花费的成本比较大而且比较费时,经验法相对实测法比较灵活快

表3 试桩在各级荷载作用下的桩身轴力汇总表

桩号	编号	深度/m	各级荷载作用下的轴力/kN								
			0.00	4560	6840	9120	11400	13680	15960	18240	20520
SJ-1	5	0.63	4257	6498	8673	11027	13551	15671	18019	20210	22475
	6	3.13	2487	4982	7735	10519	12323	15027	17609	19937	22328
	7	9.13	1642	3338	5555	8216	10210	13076	15875	18543	21047
	8	15.63	894	1927	3329	6090	7648	9995	12761	15105	19031
	9	17.83	479	1018	2192	4899	6477	8985	11463	13977	17432
	10	23.63	310	724	1462	2844	3997	5976	7541	9121	10227
	11	25.23	87	448	1005	1912	2941	4462	6083	7364	9028
	12	30.00	15	45	96	158	235	337	465	618	747
SJ-2	5	3.1	4394	6593	8606	10970	13223	15629	17938	20072	22339
	6	17.4	534	2002	3445	6174	8924	10930	13409	14567	15666
	7	18.4	475	1760	3231	5523	8375	10312	12889	14172	15219
	8	28.6	210	425	640	861	1070	1333	1610	1860	2138
	9	30	13	27	40	61	90	129	201	253	307
SJ-3	14	3.1	4352	6620	8853	10835	13556	15507	17849	19989	22566
	15	17.4	673	1931	3366	5348	7338	10079	11649	13924	16568
	16	18.4	418	1566	3090	5017	6891	9492	11029	12949	16150
	17	28.6	218	395	685	986	1301	1604	1931	2472	2859
	18	30	35	56	95	144	199	285	402	553	708

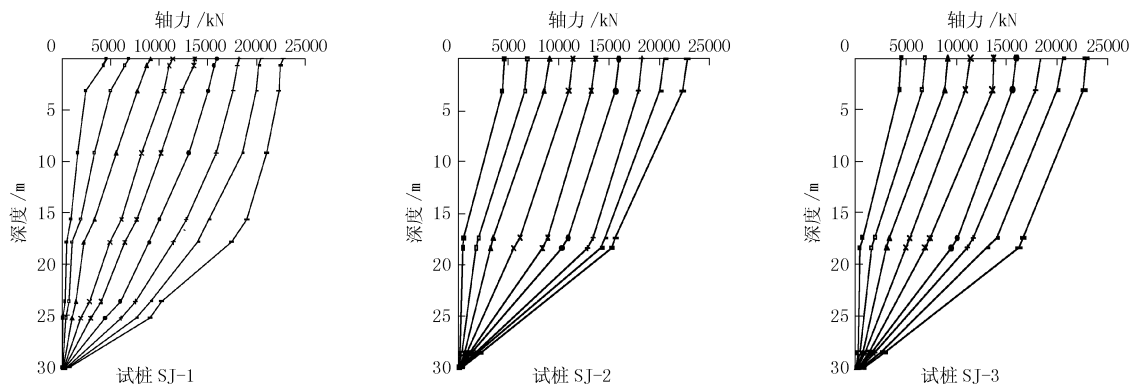


图3 三根试桩轴力分布图

速,但是误差很大,因此寻求一种既能保证准确又能保证节省资源的方法是目前的一个热点问题。《建筑桩基技术规范》(JGJ 94-2008)^[2]有关经验参数法确定桩的总极限侧阻力标准值的公式为:

$$Q_{sk} = u \sum q_{sik} l_i$$

式中: Q_{sk} ——总极限侧阻力标准值; u ——桩身周长; q_{sik} ——桩周第*i*层土的极限侧阻力标准值; l_i ——桩周第*i*层土的厚度。

值得注意的是,式中给出的侧摩阻力标准值 q_{sik} 是规范相对于各个土层给出的经验参考值,与实际的计算值还有一定的误差,因此笔者认为有必要提出一个相应的修正系数来弥补经验参数与实测值之间的误差。

根据前文的工程实例,结合静载和桩身应力测试试验,测得桩身各个界面的轴力值,并根据《建筑桩基检测技术规范》(JGJ 106-2003)^[3]中按每级试荷载下桩身不同断面处的轴力值计算桩侧土的分

层侧摩阻力,见下式。

$$q_{si} = (Q_i - Q_{i+1}) / (u l_i)$$

式中: q_{si} ——桩第*i*断面与*i+1*断面间侧摩阻力,kPa; i ——桩检测断面顺序号, $i=1,2,\dots,n$,并自桩顶以下从小到大排列; u ——桩身周长,m; l_i ——第*i*断面与第*i+1*断面之间的桩长,m; Q_u ——桩端的轴力,kN。

计算出桩身不同断面处的侧摩阻力标准值 q_{si} ,并与规范给定的标准值进行了比较,见表4。

根据3根试桩的测试结果计算出来3根试桩的侧摩阻力标准值,并与规范给定的经验参考值进行了分析比较,同时结合大量的工程实际经验和测试结果^[4]来看,认为规范给定的经验参考值是过于安全,同时是偏于保守的。笔者认为应当适当增加规范给定的经验参考值,根据不同土质给出不同的增大系数,结合大量测试结果提出了侧摩阻力标准值修正系数 μ ,见表5。

表 4 三根试桩侧阻力值计算结果汇总

桩号	编号	土层	试桩在各级荷载作用下的桩侧阻力值/kPa								最大值 /kPa	规范值 /kPa	增值/%	
			4560	6840	9120	11400	13680	15960	18240	20520				22800
SJ-1	1	粉砂	153.17	172.88	225.96	188.56	65.21	146.09	111.72	156.71	164.29	225.96	64~86	163~253
	2	卵石	225.48	193.12	119.49	64.71	156.43	82.04	52.23	34.78	18.73	225.48	140~170	33~61
	3	粉质粘土	44.85	87.26	115.71	122.24	112.15	103.56	92.04	73.99	67.99	115.71	53~68	70~118
	4	粉土	36.65	69.13	109.06	104.16	125.53	150.96	152.57	168.45	98.78	168.45	62~82	105~172
	5	中粗砂	60.08	131.59	164.59	172.41	169.51	146.21	187.9	163.29	231.47	231.47	72~94	146~221
	6	卵石	9.28	16.14	40.08	112.84	136.17	165.22	215.35	266.64	395.62	395.62	140~170	133~183
	7	粗砂	44.39	54.94	90.96	185.51	210.19	301.35	290.21	349.72	238.65	349.72	95~116	201~268
	8	粘土	4.81	26.91	60.69	117.11	180.67	275.41	375.09	450.4	552.88	552.88	96~102	442~476
SJ-2	1	砂卵石	17.05	25.37	52.80	44.18	46.95	34.00	31.03	46.02	47.36	52.80	140~170	-
	2	粘土	85.96	102.24	114.94	106.81	95.74	104.65	100.86	122.60	148.61	148.61	68~84	77~119
	3	细砂	18.79	77.07	68.15	207.32	174.84	196.82	165.61	125.80	142.36	207.32	64~86	141~224
	4	砂卵石	8.27	41.68	80.90	145.56	228.08	280.35	352.16	384.41	408.42	408.42	140~170	140~192
	5	砂卵石	41.63	87.58	131.71	175.39	214.06	257.51	308.69	353.28	486.35	486.35	140~170	186~247
SJ-3	1	砂卵石	21.37	22.60	27.43	58.04	12.74	46.54	40.17	54.55	24.04	58.04	140~170	-
	2	粘土	81.93	104.43	122.20	122.20	138.48	120.89	138.08	135.07	133.58	138.48	68~84	65~104
	3	细砂	81.21	116.24	87.90	105.41	142.36	186.94	197.45	310.51	133.12	310.51	64~86	261~385
	4	砂卵石	6.24	36.56	75.09	125.86	174.53	246.28	284.06	327.12	414.98	414.98	140~170	144~196
	5	砂卵石	36.85	77.12	134.21	191.54	250.68	300.05	347.82	436.53	489.31	489.31	140~170	188~249

表 5 桩极限侧摩阻力标准值修正系数 μ

土层	粉砂	粉质粘土	粘土	中细砂	中粗砂	砂卵石
修正系数 μ	1.25	1.35	1.30	1.25	1.21	1.55

该系数是配合桩侧和桩底后注浆工艺给出的,且地质条件与石家庄市开元环球中心项目的类似,其他还需要配合相关原位实验结果取值。

4 工程应用实例

4.1 工程概况

中国国际贸易中心三期工程位于北京市朝阳区东三环中路,国贸桥西北角,为地上 73 层,地下 3~4 层,钢混+全钢结构。主楼基础采用 $\text{Ø}1200\text{ mm}$ 旋挖钻孔灌注桩,单桩竖向承载力特征值为 11500 kN,混凝土强度等级 C40,有效桩长 50.2~53.6 m。地层及岩土体的物理性质见北京市勘察设计研究院提供的《中国国际贸易中心三期工程岩土工程勘察报告》。

4.2 静载试验研究

本次试验针对 4 根试桩(TP1、TP2、TP3、TP4)进行了低应变检测试验、单桩竖向抗压静载试验及桩身应力测试试验,在静载前后对 4 根试桩进行的低应变检测试验结果来看,4 根桩均为 I 类桩、完整性桩,证明了试桩的准确性。结合静载试验和桩身应力测试实测测出了各个土层桩侧摩阻力标准值,同时参照前文总结出来的侧摩阻力标准值修正系数,对规范给定的经验参考值进行修正,详见表 6^[5]。

由表 6 可以看出,经修正后的侧摩阻力标准值与实测值之间还有一定的误差,这是因为各个土层

的特殊性,很难用统一标准来划定。但总体来看,还是较给定的经验参考值有所增加,提高了桩侧阻力的值,更接近于实际的状态,为桩的优化设计提供了一定的理论基础。

5 结论及建议

5.1 结论

本文通过对河北开元环球中心工程 3 根试桩的静载和桩身应力测试试验,对桩侧摩阻力的发挥进行了分析,并针对规范给定的桩侧阻力经验参考值提出了修正,主要得出以下几点结论。

(1) 在试验前后应采用低应变测试来检验基桩是否存在缺陷。本文进行的分析只针对完整的桩基。对存在缺陷的基桩,其承载力的计算应根据缺陷位置与程度进行专门研究。

(2) 单桩侧摩阻力的发挥是随着荷载的增加,自桩顶到桩端逐渐开展。首先是桩身上部桩侧摩阻力最先发挥;接着是中部侧摩阻力逐步发挥;但是,桩下部摩阻力即便是在单桩承载力的临界状态,也未必能充分发挥。同时桩侧极限摩阻力与所在的深度、土的种类和性质、成桩方法等多种因素有关。

(3) 本文结合工程实测并结合不同的土层性质针对规范给定的经验参考值进行了修正,提出了不同土层桩侧摩阻力值的修正系数 μ ,并结合了工程实例进行了验证。

(4) 桩基的设计既有其严肃性的一面,必须按照规范保证建筑物的长久安全,也有其灵活性的一面,可以采用多种桩基方案比较优化设计。桩基的

表6 测试及修正结果汇总表

桩号	最大试验荷载 /kN	土层标高 /m	土层情况	平均极限侧摩阻力 /kPa	规范给定标准值 /kPa	修正后的侧摩阻力 标准值/kPa
TP1	23000	18.25 ~ 15.25	砂质粉土	111.7	42 ~ 62	52.5 ~ 77.5
		15.25 ~ 5.75	以卵石为主	295.4	140 ~ 170	217 ~ 263.5
		5.75 ~ 0.50	砂质粉土、细中砂	120.6	53 ~ 72	66.25 ~ 90
		0.50 ~ -6.00	以粘土为主	120.9	53 ~ 68	68.9 ~ 88.4
		-6.00 ~ -9.50	粉质粘土	119.0	42 ~ 62	56.7 ~ 83.7
		-9.50 ~ -16.50	卵石、中细砂	301.2	140 ~ 170	217 ~ 263.5
		-16.50 ~ -31.00	粘土	49.1	21 ~ 38	27.3 ~ 49.4
-31.00 ~ -34.65	卵石、圆砾	319.7	140 ~ 170	217 ~ 263.5		
TP2	23000	18.25 ~ 15.25	砂质粉土	110.4	42 ~ 62	52.5 ~ 77.5
		15.25 ~ 5.75	以卵石、中细砂为主	271.8	140 ~ 170	217 ~ 263.5
		5.75 ~ 0.50	砂质粉土、细中砂	117.5	53 ~ 72	66.25 ~ 90
		0.50 ~ -6.00	以粘土为主	122.3	53 ~ 68	68.9 ~ 88.4
		-6.00 ~ -9.50	粉质粘土	110.9	42 ~ 62	56.7 ~ 83.7
		-9.50 ~ -16.50	卵石、中细砂	287.7	140 ~ 170	217 ~ 263.5
		-16.50 ~ -31.00	粘土	48.5	21 ~ 38	27.3 ~ 49.4
-31.00 ~ -34.65	卵石、圆砾	338.9	140 ~ 170	217 ~ 263.5		
TP3	23000	18.25 ~ 15.25	砂质粉土	115.1	42 ~ 62	52.5 ~ 77.5
		15.25 ~ 5.75	以卵石、中细砂为主	304.3	140 ~ 170	217 ~ 263.5
		5.75 ~ 0.50	砂质粉土、细中砂	132.8	53 ~ 72	66.25 ~ 90
		0.50 ~ -6.00	以粘土为主	134.5	53 ~ 68	68.9 ~ 88.4
		-6.00 ~ -9.50	粉质粘土	125.1	42 ~ 62	56.7 ~ 83.7
		-9.50 ~ -16.50	卵石、中细砂	310.5	140 ~ 170	217 ~ 263.5
		-16.50 ~ -31.00	粘土	43.4	21 ~ 38	27.3 ~ 49.4
-31.00 ~ -34.65	卵石、圆砾	306.8	140 ~ 170	217 ~ 263.5		
TP4	23000	18.25 ~ 15.25	砂质粉土	111.5	42 ~ 62	52.5 ~ 77.5
		15.25 ~ 5.75	以卵石、中细砂为主	283.3	140 ~ 170	217 ~ 263.5
		5.75 ~ 0.50	砂质粉土、细中砂	123.9	53 ~ 72	66.25 ~ 90
		0.50 ~ -6.00	以粘土为主	128.6	53 ~ 68	68.9 ~ 88.4
		-6.00 ~ -9.50	粉质粘土	123.4	42 ~ 62	56.7 ~ 83.7
		-9.50 ~ -16.50	卵石、中细砂	297.7	140 ~ 170	217 ~ 263.5
		-16.50 ~ -31.00	粘土	35.3	21 ~ 38	27.3 ~ 49.4
-31.00 ~ -34.65	卵石、圆砾	283.9	140 ~ 170	217 ~ 263.5		

设计与施工应走一体化的道路,这既是一个管理问题,也是一个技术问题。在目前的情况下,消除泥皮和孔底沉渣对桩基承载力的影响,保障桩长、桩径和垂直度;保证桩身混凝土的设计强度且不存在缺陷的条件下,优化设计方案是完全可行的。

5.2 建议

由于本人的能力水平有限,文中有不妥当的地方希望专家批评指导,本人认为还有一些问题值得继续分析研究。

(1)可在静载荷试桩时,在各个土层中同时埋设位移测试仪器,更准确地测得各层土内桩土之间的相对位移,对桩侧摩阻力的发挥性能作进一步的研究,得出更符合实际的荷载传递模型。

(2)更加深入地分析桩侧摩阻力的计算,结合数值模拟分析提出计算的修正模型,精确的计算出各个土层侧摩阻力的修正系数。

(3)结合桩基试验和修正后的桩侧摩阻力值,从理论上研究分析影响桩基侧阻力的因素,不仅包

括常规的地质情况、施工工艺等,还应研究随着荷载的增加,地基的沉降以及维护桩的限制等因素对桩基侧阻力的动态影响。

(4)由于实际的现场实验加压到基础桩承载能力的极限状态甚至破坏是相当困难的,所以一般情况下,现场的加载量是设计承载力的2倍,偶尔超过10%,本论文涉及的现场试验加载量超过设计承载力2倍的20%,通过理论分析,模拟计算出极限承载力或者破坏承载力。这样对指导生产是相当有意义的。

参考文献:

- [1] 叶建忠,周健. 桩土协同工作界面特性试验研究[J]. 地质与勘探,2003,39(增刊):35-37.
- [2] JGJ 94-2008,建筑桩基技术规范[S].
- [3] JGJ 106-2003,建筑基桩检测技术规范[S].
- [4] 史佩栋. 桩基工程手册[M]. 北京:人民交通出版社,2008.
- [5] 张忠苗. 桩基工程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.